

***Diseño de una planta de tratamientos de aguas miel de Kilamupi café***

***Wastewater treatment system design for Kilamupi café***

***Projeto de estação de tratamento de água de mel para café Kilamupi***

Jessica Paola Arcos-Logroño II

paola.arcos@espoch.edu.ec

https://orcid.org/0000-0002-9462-2219

William Xavier Ibáñez-Moreno I

william.ibañez@espoch.edu.ec

https://orcid.org/0000-0002-6488-1121

Bori Javier Ortega-Naranjo IV

bori.ortega@espoch.edu.ec

https://orcid.org/0000-0002-4880-648X

Liz de Lourdes Ortiz-Contreras III

[liz.ortiz@espoch.edu.ec](mailto:liz.ortiz@espoch.edu.ec)

https://orcid.org/0000-0002-4766-183X

**Correspondencia:** william.ibañez@espoch.edu.ec

Ciencias de la Educación

Artículo de investigación

\***Recibido:** 30 de enero de 2021 \***Aceptado:** 15 de febrero de 2021 **\* Publicado:** 05 de marzo de 2021

1. Master Universitario en Química Industrial e Introducción a la Investigación Química, Ingeniero Químico, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
2. Master Universitario en Ciencias Agroambientales y Agroalimentarias, Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador
3. Estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
4. Estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.

**Resumen**

Se diseñó una planta de tratamientos de aguas miel para Kilamupi café. El diseño cuenta con un sistema de filtración compuesto por piedra, caliza, grava, arena y carbón activado, se realizaron análisis de laboratorio antes y después de ingresar el agua residual a la planta a escala piloto, para lo que se utilizó muestras compuestas con tres réplicas. En la caracterización inicial se obtuvieron los siguientes resultados, nitrógeno total 199,15 mg/L, fósforo total 11,63 mg/L, pH 3,8, sólidos totales 4086 mg/L, DBO5 5358,66 mg/L, 44 Pt-Co de color real y 1150 mg/L para turbidez. Se logró reducir las concentraciones de cada parámetro después de filtrar el agua residual con un caudal de 0,5 L/s, el nitrógeno total se redujo un 98,61%, el fósforo total alcanzó una reducción de 97,59%, la DBO5 disminuyó en un 97,55 %, los sólidos totales disminuyeron un 98,15%, el color real logró ser inapreciable en una dilución 1/20, el parámetro de pH logró incrementarse hasta 7,58 y el parámetro de turbidez alcanzó un valor de 26,83 NTU, cuyos valores se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente. Además, mediante estudios realizados se ratificó que los procesos físicos (secundarios) y los materiales del lecho filtrante constituyen una opción viable para la descontaminación de aguas residuales. Finalmente, para la finca Kilamupi café se dimensionó un tanque de filtración con las siguientes medidas: 1,17 m2 de área transversal; 0,82 m de alto; 1,08 m de ancho, 1,05 m de longitud y 0,93 m3 de capacidad.

**Palabras clave:** Aguas miel; PTAR; Remoción de contaminante; Procesos físicos; Diseño.

**Abstract**

The wastewater treatment plant was designed for Kilamupi café. The design has a filtration system composed of limestone, gravel, sand and activated carbon, the laboratory analysis were carried out before and after the treatment process, using composite samples with three replicas. In the initial characterization the following results were obtained, total nitrogen 199.15 mg / L, total phosphorus 11.63 mg / L, pH 3.8, total solids 4086 mg / L, BOD5 5358.66 mg / L, 44 Pt -Co for true color and 1150 mg / L for turbidity. It was possible to reduce the concentrations of each parameter after filtering the wastewater with a flow rate of 0.5 L / s. Total nitrogen was reduced by 98.61%, total phosphorus reached a reduction of 97.59%, BOD5 decreased by 97.55%, total solids decreased by 98.15%, color became negligible in a 1/20 dilution, pH parameter increased to 7.58 and turbidity parameter reached a value of 26,83 NTU, whose values are within the limits established by current environmental regulations. In addition, through studies carried out, it was confirmed that the physical processes (secondary) and the materials of the filter bed constitute a viable option for the decontamination of wastewater. Finally, for Kilamupi Café, a filtration tank was dimensioned with the following measurements: 1.17 m2 of cross-sectional area; 0.82 m high; 1.08 m wide, 1.05 m long and 0.93 m3 capacity.

**Keywords:** Honey waters; WWTP; Pollutant removal; Physical processes; Design.

**Resumo**

Uma estação de tratamento de água com mel foi projetada para o café Kilamupi. O projeto conta com um sistema de filtração composto por pedra, calcário, brita, areia e carvão ativado, as análises laboratoriais foram realizadas antes e após a entrada no efluente da planta em escala piloto, para a qual compôs amostras com três réplicas. Na caracterização inicial foram obtidos os seguintes resultados, nitrogênio total 199,15 mg / L, fósforo total 11,63 mg / L, pH 3,8, sólidos totais 4086 mg / L, BOD5 5358,66 mg / L, 44 Pt -Co para cor verdadeira e 1150 mg / L para turbidez. Foi possível reduzir as concentrações de cada parâmetro após filtrar o efluente com uma vazão de 0,5 L / s, o nitrogênio total foi reduzido em 98,61%, o fósforo total atingiu uma redução de 97,59%, o DBO5 diminuiu em 97,55%, os sólidos totais diminuíram 98,15%, a cor real passou a ser desprezível na diluição 1/20, o parâmetro de pH aumentou para 7,58 e o parâmetro de turbidez atingiu o valor de 26,83 NTU, cujos valores estão dentro dos limites estabelecidos pela regulamentação ambiental vigente. Além disso, por meio de estudos realizados, constatou-se que os processos físicos (secundários) e os materiais do leito filtrante constituem uma opção viável para a descontaminação de águas residuárias. Por fim, para a fazenda do café Kilamupi, um tanque filtrante foi dimensionado com as seguintes medidas: 1,17 m2 de área transversal; 0,82 m de altura; 1,08 m de largura, 1,05 m de comprimento e 0,93 m3 de capacidade

**Palavras-chave:** Honey waters; WWTP; Remoção de poluentes; Processos físicos; Projeto.

**Introducción**

El cultivo del café se encuentra ampliamente difundido en los países tropicales y subtropicales, en Perú, en el Caserio Barrio Nuevo se realizó un estudio sobre la situación actual de las aguas residuales producto del beneficio del café en donde concluyeron que el 100% de agricultores no realiza tratamiento de las mismas (Huaman 2018, p. 57). Ecuador no es la excepción, mostrando un cuadro crítico por la contaminación ocasionada debido al destino final de las aguas miel sin previo tratamiento (Zuñiga 2005, p. 18).

Kilamupi café es una empresa de la provincia de Morona Santiago, se encuentra ubicada en el Km 8 de la vía Macas-Puyo. Esta empresa se dedica a la siembra, cultivo y tostado de café (Kilamupi 2019, p. 1). Durante este proceso, se generan residuos sólidos y líquidos entre ellos el mucílago, pulpa y aguas miel (Ministerio de Agricultura y Ganadería 2010, p. 12-15) que, al no ser tratadas, se consideran contaminantes para el suelo o recursos hídricos, dependiendo donde sean vertidos (Zuñiga 2005, p. 19). Es por ello que se ha visto necesario realizar el diseño de una Planta de tratamiento de aguas miel, ayudando de esta manera a la empresa a disminuir el impacto ambiental ocasionado, al implementar una gestión sustentable en su proceso productivo.

Para el diseño del sistema de tratamiento de las aguas miel, se pensó no solo en la empresa Kilamupi, si no en los 1.874 productores de café de la provincia de Morona Santiago, (Ministerio de Agricultura y Ganadería 2020, p. 1), que no realizan un manejo adecuado de sus efluente, debido al costo que representa esta actividad. Es por eso, que se ha presentado una alternativa eficaz y de fácil implementación que ayudará a que las aguas miel cumplan con las características necesarias para que pueda ser descargadas en un cuerpo de agua dulce o reutilizadas en el sistema.

Este proyecto técnico estará estructurado de la siguiente manera, en el capítulo I se encuentra el diagnóstico del problema, en el capítulo II se presenta la revisión de la literatura o fundamentos teóricos, en el capítulo III se indica el marco metodológico, en el capítulo IV se plasma los resultados y finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones.

**Materiales y métodos**

* **Tipo de la Investigación**

La investigación que se utilizó fue de tipo aplicada, mediante el uso de elementos técnicos, experimentales y conceptuales para el diseño de una PTAR, con el fin de mitigar el impacto ambiental producido por los elementos contaminantes de las aguas miel realizando un correcto manejo de las mismas (Cedron & Cribilleros, 2017, p. 17).

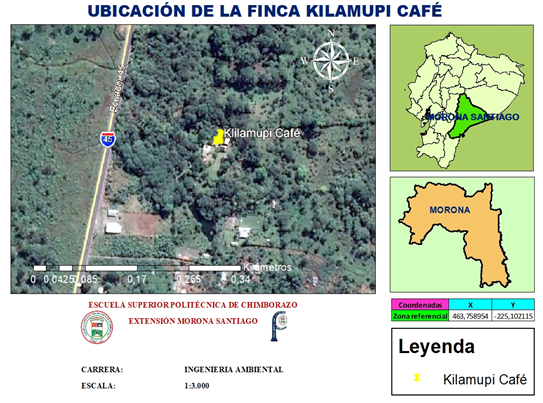
* **Diseño de la Investigación**

Se realizó el diseño experimental de un solo factor de tratamiento y para su análisis se utilizó el programa SPSS, el cual se basó en el análisis de regresión lineal estudiando la relación entre variables cuantitativas (Pérez 2013, p. 15). El factor, número de tratamientos, variables de respuesta y réplicas se detallan en la Tabla 1-3.

**Tabla 1:** Factor, niveles y variables para el diseño experimental

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Factor de tratamiento | Número de tratamientos | Variable de respuesta | Réplicas |
| Caudal | 3 | Nitrógeno total, Fósforo total, pH, DBO5, Sólidos totales, Color y Turbidez | 3 |

* ***Tecnológico***
* *Localización del proyecto*

**Figura 1:** Ubicación Finca Kilamupi Café

La Finca Kilamupi se encuentra ubicada en la provincia de Morona Santiago, cantón Morona, en el Km. 8 de la vía Macas-Puyo. Con una elevación de 1100 msnm y una temperatura que varía entre 16 - 26 °C, lugar donde se obtuvo la información para crear el diseño del sistema de tratamiento de las aguas miel.

* *Población de estudio y/o tamaño muestra*

En este caso nuestra población de estudio será el total de agua residual generada por Kilamupi café, el muestreo que se utilizó fue compuesto por qué se mezcló muestras individuales tomadas de los tres lavados que son parte del proceso de producción de café en la finca Kilamupi. (Kilamupi 2019, p. 1)

* *Técnicas de recolección de datos*

En la primera etapa se obtuvo información de los procesos productivos de café, mediante una entrevista con el gerente de Kilamupi café, el Sr. José Merino.

La caracterización físico- química de las aguas miel, se realizó mediante la recolección de una muestra compuesta, para posteriormente realizar su respectivo análisis, en el laboratorio de la Planta de tratamientos de agua del Gobierno Municipal del cantón Morona, ubicado en la parroquia San Isidro.

Para el análisis de laboratorio se utilizó el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23nd Edition, 2017, mediante el uso de los métodos especificados en la Tabla 2-3.

**Tabla 2:** Parámetros para la caracterización Físico - Química de las aguas miel de Finca Kilamupi

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **PARÁMETRO** | **MÉTODO** | **CITA** |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | Standard Methods 5210-B | (Asociación Americana de Salud Pública et al 2017, p. 575-580) |
| Solidos Totales | Standard Methods 2540-B | (Asociación Americana de Salud Pública et al. 2017, p. 186-187) |
| Fosfatos (PO4) | Standard Methods 4500-P-D | (Asociación Americana de Salud Pública et al. 2017, p. 524-525) |
| Turbidez | Standard Methods 2130-B | (Asociación Americana de Salud Pública et al. 2017, p. 131-132) |
| Nitratos (NO3-) | Standard Methods 4500-NO3-E | (Asociación Americana de Salud Pública et al. 2017, p. 490-491) |
| Potencial Hidrógeno (pH) | Standard Methods 4500-H+A  Standard Methods 4500-H+B | (Asociación Americana de Salud Pública et al. 2017, p. 456-460) |
| Color | Standard Methods 2120-E | (Asociación Americana de Salud Pública et al. 2017, p. 123-124) |

**Realizado por:** Los autores, 2021

* *Análisis Estadístico*

**Análisis Descriptivo**

Para determinar si es que existen diferencias significativas entre los parámetros de interés y los caudales propuestos se realizó un análisis de varianzas (Anova). Cuando el valor de la probabilidad del estadístico de la prueba Anova es inferior al nivel de significancia (α < 0,05), se rechaza la hipótesis nula (H\_O) y se acepta la hipótesis alternativa (H\_i). (Ferreo y López 2020, p. 1)

La validez del diseño experimental se realizó al comprobar el supuesto de normalidad de datos, mediante una gráfica de predichos vs residuos. El supuesto de interdependencia de datos se verificó con una gráfica de residuos y finalmente la homocestacidad de datos se confirmó mediante la prueba estadística de Levene.

**Análisis de Contraste**

Los valores obtenidos de la caracterización de aguas miel y del agua residual después de pasar por el sistema de filtración, fueron contrastados con los límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce, especificado en la Tabla 9, Anexo 1, Libro VI del A.M. 097 A. (Ministerio del Ambiente 2015, p. 16-17), para poder realizar esta comparación se llevó a cabo un ajuste de conversión para los parámetros de Nitratos (NO3-) y Fosfatos (PO4), tomando como referencia los valores de nitrógeno total y fósforo total respectivamente, las fórmulas de conversión se detallan a continuación en la Tabla 3-3.

**Tabla 3:** Fórmulas de conversión

|  |  |
| --- | --- |
| **Parámetros** | **Fórmula** |
| Nitratos (NO3-) |  |
| Fosfatos (PO4) |  |

**Fuente:** Hach 2020, p. 1; Hanna Instruments 2020, p. 1

**Realizado por:** Los autores, 2021

Adicionalmente, los parámetros que cumplieron las condiciones establecidas en el A.M 097-A, se evaluó la eficiencia del sistema de filtración con los caudales propuestos.

**Ecuación 1:** Fórmula utilizada para determinar la eficiencia

Donde:

𝐸: eficiencia

𝐶𝑜: concentración Inicial

𝐶𝑓: concentración Final

Análisis Explicativo

Se efectuó un análisis explicativo de todo el sistema de tratamiento, el cual detalla medidas, materiales y variables del diseño de la PTAR.

* *Ingeniería del proyecto*

**Sistema de Filtración**

La planta piloto estuvo conformada por un sistema de filtración, compuesto por un filtro elaborado en un tanque de 20 litros de capacidad.

El filtro fue elaborado con los siguientes materiales: piedra caliza, grava, arena y carbón activado. Para determinar el tamaño del material filtrante, el espesor del material y la velocidad de filtración se basó en literatura existente y se detallan en la Tabla 4-3.

**Tabla 4:** Características de diseño del sistema de filtración

| MATERIAL DEL LECHO FILTRANTE | TAMAÑO DEL MATERIAL FILTRANTE  Mm | ESPESOR DE LA CAPA  Cm | VELOCIDAD DE FILTRACIÓN  m/h |
| --- | --- | --- | --- |
| Piedra | >50 | 10 | 5 |
| Grava | 20-4 | 20-30 | 3,1 |
| Arena | 0,06-0,1 | 10 | 3,6 |
| Piedra Caliza | 19 | 5 | 5-7 |
| Carbón activado | 0,83-2,36 | 12 | - |

**Fuente:** Ordóñez y Pesantez 2017, p. 42

**Realizado por:** Los Autores, 2021

El Caudal Teórico (QT), se determinó con los valores del material del lecho filtrante limitante del sistema (grava), al tener la menor velocidad de filtración se consideró como caudal mínimo (QMin), y con base en este caudal se propuso un caudal medio (QMed) y un caudal máximo (QMax).

**Determinación del Caudal Mínimo**

**Ecuación 2:** Fórmula para determinar el caudal mínimo

T

Donde:

QMin: caudal (L/s)

V: velocidad (m/s)

AT: área de tanque (m2)

El cálculo del caudal mínimo se determinó en base al área transversal del tanque de filtración de la planta piloto, con la siguiente fórmula:

**Ecuación 3:** Fórmula para determinar el área transversal del tanque

Donde:

ATD: área transversal del tanque (m2)

D: diámetro del tanque (m)

Mientras que la velocidad de filtración se encuentra detallada en la Tabla 4-3; con esos datos se obtuvo el valor del caudal mínimo, que se muestra en la Tabla 5-3.

**Tabla 5:** Determinación del caudal mínimo

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **ETAPA** | **MATERIAL FILTRANTE DE REFERENCIA** | **VELOCIDAD DE FILTRACIÓN**  **(M/S)** | **ÁREA DEL TANQUE**  **(M2)** | **CAUDAL MÍNIMO**  **(L/S)** |
| Filtro | Grava | 3,1 | 0,07 | 0,22 |

**Realizado por:** los autores, 2021

**Caudales propuestos para el diseño de la PTAR**

Los niveles del caudal utilizados en la planta piloto se consideraron tres, los cuales se detallan a continuación en la Tabla 6-3.

**Tabla 6:** Caudales propuestos

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **CAUDAL** | **VALORES** | **UNIDADES** |
| QMin | 0,22 | L/s |
| Qmed | 0,5 | L/s |
| QMax | 1 | L/s |

**Realizado por:** Los autores, 2021

**Dimensionamiento de los Tanques de Filtración**

Para realizar el dimensionamiento de los Tanques de Filtración se calculó la velocidad de filtración con la siguiente fórmula:

**Ecuación 4:** Fórmula para determinar la velocidad de filtración

Donde:

w: velocidad de filtración (m/s)

QD: caudal de salida de la planta piloto (m3/s)

ATD: área transversal del tanque de la planta piloto (m2)

Con el valor que se obtuvo anteriormente, se determinó el área del tanque de filtración para la Empresa Kilamupi Café, con la siguiente fórmula:

A\_T=Q/w

**Ecuación 5:** Fórmula para determinar el área superficial

Donde:

AT: área superficial (m2)

Q: caudal de funcionamiento (m3/s)

w: velocidad de filtración (m/s)

El tiempo de retención hidráulica se determinó con la fórmula que se detalla a continuación:

**Ecuación 6:** Fórmula para determinar el tiempo de retención hidráulica

Donde:

AT: área superficial (m2)

H: altura (m)

p: porosidad del medio granular

Q: caudal de funcionamiento (m3/s)

Posteriormente se calculó el volumen necesario con la fórmula que se presenta a continuación:

**Ecuación 7:** Fórmula para determinar el volumen del tanque

Donde:

V: volumen del tanque (m3)

Q: caudal de funcionamiento (m3/s)

TRH: tiempo de retención hidráulica (s)

Además, se calculó la altura del tanque con la siguiente fórmula:

**Ecuación 8:** Fórmula para determinar la altura

Donde:

H: altura del tanque(m)

V: volumen del tanque (m3)

AT: área superficial (m2)

Para calcular el ancho del tanque de filtración, primero se calculó el coeficiente de costo mínimo con la fórmula que se muestra a continuación

**Ecuación 9:** Fórmula para determinar el coeficiente de costo mínimo

Donde:

Kc: coeficiente de costo mínimo

n: número de filtros

**Ecuación 10:** Fórmula para determinar el ancho del filtro

Donde:

af: ancho del filtro (m)

AT: área superficial (m2)

Kc: coeficiente mínimo de costo (adimensional)

Para calcular la longitud del tanque de filtración, se utilizó los valores del volumen, ancho del filtro y la altura, con la fórmula que se muestra a continuación:

**Ecuación 11:** Fórmula para determinar la longitud del tanque

Donde:

L: longitud del tanque (m)

b: base del tanque (m)

H: altura del tanque(m)

V: volumen del tanque (m3)

* *Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria*

Los requerimientos necesarios para la elaboración de este proyecto se dividen en tres aspectos, el primero se especifica en la Tabla 7-3, donde se detalla los equipos que fueron utilizados para la caracterización de cada uno de los parámetros de interés.

**Tabla 7:** Requerimientos para análisis en laboratorio

|  |  |
| --- | --- |
| **CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL AGUA** | |
| **PARÁMETRO** | **EQUIPOS** |
| Nitratos | Fotómetro |
| Fosfatos | Fotómetro |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | Bench |
| Sólidos Totales | Estufa Universal |
| pH | pH metro |
| Turbidez | Fotómetro |
| Color | Fotómetro |

**Realizado por:** Los autores, 2021

En la Tabla 8-3, se especifica los materiales que se utilizaron en la planta piloto de tratamiento de aguas miel.

**Tabla 8:** Requerimientos para la creación del diseño y análisis de datos

|  |  |
| --- | --- |
| DISEÑO | |
| **USO** | **MATERIAL** |
| Material de medición | Flexómetro |
| Tanque de filtración | Tina de 20 L |
| Material filtrante | Piedra |
| Material filtrante | Grava |
| Material filtrante | Piedra caliza |
| Material filtrante | Carbón activado |
| Material filtrante | Arena |
| Diseño Experimental | SPSS |

**Realizado por:** Los autores, 2021

**Resultados**

**Análisis descriptivo**

En la Tabla 9-4, se observó que los valores de la probabilidad del estadístico de prueba (Anova) son menores al nivel de significancia (0,05) por lo que se rechazó la hipótesis nula (Ho) y se aceptó la hipótesis alternativa (Hi), es decir que existe diferencias significativas entre nuestros factores (caudal máximo, medio y mínimo) de estudio.

**Tabla 9:** Análisis de Varianza (ANOVA)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ANÁLISIS DE VARIANZA** | | | | | | |
| **Origen** | **Variables dependientes** | **Tipo III de suma de cuadrados** | **Gl** | **Cuadrático promedio** | **F** | **Sig.** |
| Caudal | pH | 3,360 | 2 | 1,680 | 744,842 | 0,000 |
| Color | 222,000 | 2 | 111,000 |  | 0,000 |
| Turbidez | 12617,389 | 2 | 5308,694 | 6488,943 | 0,000 |
| Fósforo Total corregido | 2,872 | 2 | 1,436 | 2754,528 | 0,000 |
| Sólidos Totales corregidos | 383,010 | 2 | 191,505 | 50,392 | 0,000 |
| Nitrógeno Total | 8,63E-06 | 2 | 4,32E-06 | 1201,643 | 0,000 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno corregido | 1,83E-12 | 2 | 9,17E-13 | 1577,019 | 0,000 |

**Realizado por:** Los autores, 2021

* **Verificación de supuestos**

Se verificó el supuesto de normalidad de datos, en donde se visualizó que los datos al seguir la línea de tendencia, mediante una gráfica de predichos vs residuos, están cumpliendo con este primer supuesto. Al mismo tiempo se verificó el supuesto de interdependencia de datos, mediante una gráfica de residuos, en donde se indicó que los datos se encuentran dispersos y al no seguir una tendencia, cumplen con el segundo supuesto.

Finalmente, se analizó el tercer supuesto de homocestacidad de varianzas mediante la prueba estadística de Levene, en donde se acepta la hipótesis nula al tener valores mayores a 0,05 de significancia, es decir que las varianzas son iguales.

* ***Análisis de Contraste***
* *Caracterización de las Aguas Miel de Kilamupi Café*

En la Tabla 10-4, se detalla los valores obtenidos para cada parámetro de estudio.

**Tabla 10:** Caracterización de las aguas miel de Kilamupi Café

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **PARÁMETRO** | **EXPRESADO COMO** | **UNIDAD** | **VALORES** |
| Nitratos | NO3- | mg/L | 881,66 |
| Fosfatos | SO4 | mg/L | 35,59 |
| Potencial de Hidrógeno | pH |  | 3,8 |
| Sólidos totales | ST | mg/L | 4 086 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | DBO5 | mg/L | 5358,66 |
| Color | Color real | Pt-Co | 44 |
| Turbidez | NTU | NTU | 1150 |

**Realizado por:** Los autores, 2021

* *Ajuste de conversión*

Una vez realizada la caracterización de las aguas miel, se realizó la conversión de unidades en los parámetros de Nitratos y Fosfatos, transformándolos a nitrógeno total y fósforo total respectivamente, para comprar los valores obtenidos con los límites máximos permisibles referentes de la Tabla 9, Anexo 1, Libro VI del A.M. 097-A, como se encuentra expresado la Tabla 11-4.

**Tabla 11:** Ajuste de conversión en la caracterización de las aguas miel

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **PARÁMETRO** | **LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | **VALORES** |
| Nitrógeno Total | 50 | 199,15 |
| Fósforo Total | 10 | 11,63 |
| Potencial de Hidrógeno | 6 a 9 | 3,8 |
| Sólidos totales | 1 600 | 4 086 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | 100 | 5358,66 |
| Color | 0 | 44 |
| Turbidez | - | 1150 |

**Realizado por:** Los autores, 2021

El agua residual (aguas miel) producto del procesamiento de Kilamupi café, presentó altas concentraciones de nitrógeno total de 199,15 mg/L, valor que se encuentran fuera del rango que establece el límite máximo permisible, para el fósforo total, el valor obtenido sobrepasa los 10 mg/L correspondientes al límite máximo permisible con un valor de 11,63 mg/L, el pH se encuentra fuera del rango de 6-9, con un valor de 3,8. Para los sólidos totales, el valor obtenido fue de 4086 mg/L, es decir, sobrepasa el límite máximo permisible de 1600 mg/L. La Demanda Bioquímica de Oxígeno es la medición de la materia orgánica existente en el agua residual, el resultado de este parámetro fue elevado con respecto al límite máximo permisible, alcanzado los 5358,66 mg/L. La Norma establece que el límite máximo permisible para el color real debe ser inapreciable en dilución 1/20, es decir dar un valor de 0, sin embargo, el valor obtenido fue 44 Pt-Co, encontrándose fuera del límite máximo permisible. Finalmente, la turbidez obtuvo un valor de 1150 mg/L, resultado que se encuentra fuera del límite máximo permisible.

* ***Análisis de la eficiencia del sistema de filtración***

Se evaluó la eficiencia del sistema de filtración con base en las concentraciones de los parámetros de estudios que se obtuvieron tanto en la caracterización de las aguas miel como en la de las aguas filtradas, considerándose estos valores como concentración inicial y final respectivamente.

Para la evaluación del sistema de filtración de la planta piloto, se establecieron tres caudales: caudal máximo (1 L/s), caudal medio (0,5 L/s) y caudal mínimo (0,22 L/s). Para cada parámetro de estudio se realizaron pruebas de laboratorio con el agua tratada, a fin de determinar la eficiencia del proceso.

**Tabla 12:** Comparación de la de los parámetros antes y después del sistema de filtración

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **PARÁMETROS** | **LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | **ANTES DEL TARTAMIENTO** | **DESPUÉS DEL TRATAMIENTO** |
| Nitrógeno Total (mg/L) | 50 | 199,15 | 2,78 |
| Fósforo Total (mg/L) | 10 | 11,63 | 0,28 |
| Potencial de Hidrógeno | 6 a 9 | 3,8 | 7,58 |
| Sólidos totales (mg/L) | 1 600 | 4 086 | 100 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) | 100 | 5358,66 | 99 |
| Color (Pt-Co) | 0 | 44 | 0 |
| Turbidez (NTU) | - | 1150 | 26,83 |

**Realizado por:** Los autores, 2021

Después del tratamiento de las aguas residuales para un caudal de 0,5 L/s se obtuvieron los siguientes resultados 2,78 mg/L para el nitrógeno total, 0,28 mg/L para el fósforo total, 7,58 para el pH, 100 mg/L para los sólidos totales, 99 mg/L para la DBO5, 0 Pt-Co para el color real, y 26,83 NTU, para la turbidez, encontrándose todos los parámetros dentro de los límites máximos permisibles.

**Gráfico 1:.** Tiempo de sedimentación con respecto al volumen sedimentado

**Realizado por:** Los autores, 2021

En el gráfico 1-4 se representa la curva de sedimentación de las aguas miel, para lo cual se utilizó 1 litro de agua residual en una probeta de 1000 ml, obteniendo así los siguientes resultados: en 1 hora de monitoreo se sedimentó 50 ml de aguas miel, a las 2 horas sedimentó 100 ml, a las 3 horas sedimentó 150 ml, a las 4 horas sedimentó 200 ml, a las 5 horas sedimentó 250 ml, alcanzando su sedimentación máxima a las 6 horas con un total de 300 ml de aguas miel.

**Tabla 13:** Eficiencia de los parámetros del agua después del tratamiento.

|  |  |
| --- | --- |
| **EFICIENCIA %** | |
| **PARÁMETROS** | **VALOR** |
| Nitrógeno Total | 98,61 |
| Fósforo Total | 97,59 |
| Potencial de Hidrógeno | 99,47 |
| Sólidos totales | 97,55 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | 98,15 |
| Color | 100 |
| Turbidez | 97,67 |

**Realizado por:** Ortiz & Ortega, 2021

En la Tabla 13-4, se puede visualizar la eficiencia que se obtuvo para cada uno de los parámetros de estudio después de pasar por el sistema de filtración a escala piloto.

* **Ingeniería del proyecto**
* ***Sistema de Filtración***
* *Dimensionamiento del tanque de filtración*

Para dimensionar los tanques de filtración se realizó un diseño experimental, con el objetivo de determinar cuál es el caudal óptimo para diseñar la PTAR, garantizando el soporte técnico del filtro.

Cálculos del dimensionamiento para los tanques de filtración

Velocidad de Filtración

Donde:

**w:** velocidad de filtración (m/s)

**Q:** caudal salida de la planta piloto (caudal medio)

**ATD:** área transversal del tanque de la planta piloto (m2)

**Ecuación 12:** Cálculo de la velocidad de filtración

Área superficial del tanque de filtración para la empresa Kilamupi café

Donde:

**AT:** área transversal tanque (m2)

**Q:** caudal de funcionamiento (m3/s)

**w;** velocidad de filtración (m/s)

**Ecuación 13:** Cálculo del área transversal del tanque

Tiempo de retención hidráulica

Donde:

**AT:** área superficial del tanque (m2)

**H:** altura (m)

**p:** porosidad del medio granular

**Q:** caudal de salida de la planta piloto (m3/s)

**Ecuación 14:** Cálculo del tiempo de retención hidráulica

Volumen

Donde:

**V:** volumen (m3)

**Q:** caudal de funcionamiento (m3/s)

**TRH:** tiempo de retención hidráulica (s)

**Ecuación 15:** Cálculo del volumen del tanque

7200 s

Altura

Donde:

**H:** altura (m)

**V:** volumen (m3)

**AT:** área superficial del tanque (m2)

**Ecuación 16:** Cálculo de la altura del tanque

Coeficiente de costo mínimo

Donde:

Kc: coeficiente de costo mínimo

n: número de filtros

**Ecuación 17:** Cálculo del coeficiente de costo mínimo

Ancho

Donde:

af: ancho del filtro (m)

AT: área superficial del tanque (m2)

Kc: coeficiente mínimo de costo (adimensional)

**Ecuación 18:** Cálculo del ancho del filtro

Longitud

Donde:

L: longitud del tanque (m)

b: base del tanque (m)

H: altura del tanque(m)

V: volumen del tanque (m3)

**Ecuación 19:** Cálculo de la longitud del tanque

**Tabla 14:** Resultados para el dimensionamiento de la planta de tratamientos de aguas miel en Kilamupi Café

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Cálculo** | **Símbolo** | **Valor** | **Unidades** |
| Velocidad de filtración | W | 1,14x10-4 | m/s |
| Área transversal | AT | 1,17 | m2 |
| Volumen | V | 0.93 | m3 |
| Tiempo de retención  Hidráulica | TRH | 7200 | S |
| Altura | H | 0,82 | M |
| Coeficiente de costo mínimo | Kc | 1 | Adimensional |
| Ancho | Af | 1,08 | m |
| Diámetro de la tubería  Espesor del lecho  Filtrante  Longitud del tanque | D  -  L | 0,02  0,57  1,05 | m  m  m |

**Realizado por:** Los autores, 2021

**Discusión**

Una vez establecida la línea base de las aguas miel de la finca Kilamupi, se cuantificaron los parámetros: de potencial de hidrógeno (pH) 3,8 siendo distinto al pH que deben tener las aguas naturales para mantener la vida acuática, que se encuentra en un rango de 6 a 9 (Fernández 2012, p. 13), los parámetros de nitrógeno total y fósforo total presentan concentraciones elevadas en este residuo, con valor es de 199,15 mg/L y 11,63 mg/L respectivamente, que se encuentran fuera de los límites permisibles que establece la normativa. Fernández (2012, p. 18) indica que los aportes excesivos de estos dos parámetros pueden ocasionar fenómenos de eutrofización, en cuerpos de aguas dulce.

Inicialmente se consideró un tanque de sedimentación como tratamiento primario para la remoción de partículas más pesadas por acción de la fuerza de gravedad (Vallejos, et al. 2008, p. 3). Sin embargo, en la fase experimental se evidenció que la velocidad de sedimentación de las aguas miel es baja debido al tamaño de sus partículas, pues para un litro de agua residual, se sedimentó únicamente 300 ml en un periodo de 6 horas. Además, utilizando únicamente el sistema de filtración los parámetros cumplen con los objetivos propuestos, encontrándose dentro de los límites máximos permisibles; con un caudal de 0,5 L/s se obtuvieron valores de 2,78 mg/L para nitrógeno total, 0,28mg/L para fósforo total, 7,58 para pH, 100 mg/L para sólidos totales, 99 mg/L para la DBO5, 0 unidades de color Pt-Co para el color real y 26,83 NTU para la turbidez.

De acuerdo a investigaciones realizadas en Colombia, en la finca “Los Arrayanes”, con la aplicación de un humedal artificial de flujo vertical para el tratamiento de las aguas residuales de la producción cafetera, los resultados fueron 13,5 mg/L para el nitrógeno, 10,5 mg/L para el fósforo, y para el pH, el afluente subió de 3,69 a 6,52 (Ortíz y Montes 2018, p. 38, 53). Comparando los valores obtenidos por el humedal artificial de flujo vertical y el sistema de filtración utilizado en la presente investigación, el cual está compuesto por piedra caliza, grava, arena y carbón activado, se obtienen mejores resultados para el tratamiento de aguas residuales provenientes del café. Ratificando que los procesos físicos (secundarios) para la descontaminación de aguas residuales constituyen una opción viable.

Según Fernández (2019, p. 70) en su investigación para el tratamiento de aguas negras utilizando un biofiltro de bagazo de caña, piedra caliza, carbón activado, grava, arena y piedra pómez, logró reducir la DBO5 de 175,7 mg/L a 132 mg/L, los sólitos totales de 254 mg/L a 201 mg/L y la turbidez de 52 NTU a 26 NTU. A través de estos estudios se evidencia la efectividad que tienen los materiales filtrantes utilizados en la presente investigación para el tratamiento de aguas residuales con contaminantes orgánicos.

**Conclusiones**

Se realizó el diseño de la planta de tratamientos de aguas miel para Kilamupi café, para mitigar las afecciones ambientales y cumplir con los límites máximos permisibles como lo establece la Normativa Ambiental Vigente.

Se realizó la caracterización físico-química de las aguas miel procedentes del lavado de café, considerando los parámetros de nitrógeno total, fósforo total, potencial de hidrógeno, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, color y turbidez, obteniendo valores de 199,15 mg/L; 11,63mh/L; 3,8; 4086 mg/L; 5358,66 mg/L y 44 Pt-Co y 1150 NTU respectivamente, por lo cual éstas aguas evidencia un alta carga contaminante y no pueden ser descargadas sin previo tratamiento a un cuerpo de agua dulce.

Se realizó la caracterización físico-química de las aguas miel pos-tratamiento. Las pruebas que se realizaron en la planta piloto con caudal de 0,5 L/s (caudal óptimo de tratamiento) obteniéndose valores que cumplen con la normativa ambiental vigente; 2,78 mg/L de nitrógeno total, 0,28 mg/L para el fósforo total, pH 7,58, 100 mg/L de sólidos totales, 99 mg/L de DBO5 y para el color 0 Pt-Co, evidenciando el funcionamiento adecuado.

Se determinaron las variables de diseño para el sistema de filtración de la PTAR considerándose la velocidad de filtración de 1,14x10-4 m/s y el caudal de operación de 0,00013 m3/s. Determinando que Kilamupi café para realizar un correcto manejo de sus desechos líquidos (aguas miel) necesita un tanque con un área transversal de 1,17 m2, que tenga una altura mínima de 0,82 m y de ancho 1,08 m, con un volumen de 0,93 m3 y una longitud de 1,05 m.

**Referencias**

1. ÁLVAREZ, J., HUGH, S., CUBA, N. y LOZA, M., 2011. Evaluacion de un sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficiado de cafe (caffea arabica)implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz. Selva Andina Research Society, pp. 34-42. ISSN 2072-9294.
2. BOLAÑOS, J., CORDERO, G. y SEGURA, G., 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). Revista Tecnología en Marcha [en línea], vol. 30, no. 4, pp. 15. ISSN 0379-3982. DOI 10.18845/tm.v30i4.3408. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf.
3. CEDRON, O. y CRIBILLEROS, A., 2017. «Diagnostico del sistema de aguas residuales en salaverry y propuesta de solución» [en línea]. S.l.: Universidad Privada Antenor Orrego. Disponible en: http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/3561/1/REP\_ING.CIVIL\_OLGA.CEDRÓN\_ANA.CRIBILLEROS\_DIAGNÓSTICO.SISTEMA.AGUAS.RESIDUALES.SALAVERRY.PROPUESTA.SOLUCIÓN.pdf.
4. CORTÉS, Y., RODRÍGUEZ, K. y VARGAS, L., 2020. Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. Produccion y Limpia [en línea], vol. 15, no. 1, pp. 93-110. ISSN 23230703. DOI 10.22507/PML.V15N1A7. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/2333/210210509.
5. FERNÁNDEZ, A., 2012. El agua: un recurso esencial. Química Viva [en línea], vol. 11, no. 3, pp. 147-170. ISSN 1666-7948. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf.
6. FERNÁNDEZ, C. y VÁZQUEZ, Y., 2006. Origen de los nitratos (NO3) y nitritos (NO2) y su influencia de la potabilidad de las aguas subterráneas. Minería y Geología [en línea], vol. 2, no. 3, pp. 10. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652002.pdf.
7. FERNÁNDEZ, V., 2019. Diseño y construcción de una sanitario ecológico a través de un biofiltro de bagazo de caña para aguas negras en la finca ovina San Pablo de la parroquia rural Facundo Vela [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/11136/1/236T0438.pdf.
8. FERREO, R. y LÓPEZ, J., 2020. Qué es el anova. Máxima Formación [en línea]. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: https://www.maximaformacion.es/blog-dat/que-es-el-anova-de-una-via/.
9. GALINDO, X., 2011. Producción e industrialización de café soluble: Solubles instantaneos [en línea]. S.l.: Universidad de Guayaquil. Disponible en: http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/Galindo-Veliz-Xiomara-Raiza.pdf.
10. HACH, 2020. Cuál es el factor de conversión de NO3-N a NO3. [en línea]. [Consulta: 1 febrero 2021]. Disponible en: https://essupport.hach.com/app/answers/answer\_view/a\_id/1026609/~/%E2%BFcu%E3%A1l-es-el-factor-de-conversi%E3%B3n-de-de-no3-n-a-no3%3F-#:~:text=Para convertir unidades de Nitrógeno,dividir por el valor 4%2C427.
11. HANNA INSTRUMENTS, 2020. Fósforo: comprender los diferentes tipos de fósforo métodos utilizados para medirlo. HANNA Instruments [en línea]. [Consulta: 1 febrero 2021]. Disponible en: https://www.hannainst.es/blog/1504/Fósforo--Comprender-los-diferentes-tipos-de-f.
12. HUAMAN, D., 2018. Situación actual de las aguas residuales producto del beneficio del café (coffea arabica L.) sobre el medio ambiente en el Caserio barrio Nuevo, provincia de San Ignacio - Cajamarca [en línea]. S.l.: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Disponible en: http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/8729/Huaman\_Garcia\_Diana\_Marily.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
13. INEN, 2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. INEN [en línea]. Quito: Disponible en: https://bit.ly/2C5dMyv.
14. KILAMUPI, 2019. Kulamupi café. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2020]. Disponible en: https://merino-bleumink.com/nuestro\_proceso/.
15. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, 2010. Manual de buenas prácticas de manufactura en el beneficio Bio café oro de Tarrazú S.A. [en línea]. S.l.: Disponible en: http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00205.pdf.
16. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, 2020. Morona Santiago tiene 1.799 hectáreas de cultivos de café y cacao. Ministerio de Agricultura y Ganadería [en línea]. [Consulta: 21 octubre 2020]. Disponible en: https://www.agricultura.gob.ec/morona-santiago-comercializa-mas-de-440-quintales-de-cafe-de-calidad/.
17. MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes [en línea]. 2015. Ecuador: s.n. 387. Disponible en: http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf.
18. ORTÍZ, N. y MONTES, C., 2018. Diseño preliminar de un sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo impacto ambiental para una finca cafetera en el municipio de el Pital-Huila [en línea]. S.l.: Universidad Militar Nueva Granada. Disponible en: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18018/MontesCamposCristian-OrtizSalazarNestor2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
19. PÉREZ, E., 2013. Análisis estadístico multivariante de un conjunto de datos biológicos experimentales. [en línea]. Granada: Disponible en: http://masteres.ugr.es/moea/pages/curso201314/tfm1314/tfm-septiembre1314/memoriamasterevaristoperezrial/!
20. VALLEJOS, G., J, O. y PÉREZ, M., 2008. Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico. Ingeniería [en línea], vol. 12, no. 2, pp. 17-29. ISSN 1665-529X. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/467/46712202.pdf.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).